

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotekehitystekniikka

2015

Janne Gävert

# LÄMPÖENERGIAVIRTOJEN OHJAUS JA AUTOMATISOINTI SULJETUN KIERRON KONSEPTISSA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Janne Gävert

## LÄMPÖENERGIAVIRTOJEN OHJAUS JA AUTOMATISOINTI SULJETUN KIERRON KONSEPTISSA

Insinööriyö tehtiin Sybimar Oy:n toimeksiantona. Sybimar Oy on yritys, jonka toimialoina ovat vesiviljely, kalankasvatus, bioenergia, sivujakeiden hyödyntäminen ja elintarviketeollisuuden käsittelylaitteistot. Yritys on rakentanut suljetun kierron energiaratkaisun pilottilaitokseensa, jossa jätteet, hukkalämpö, ravinteet ja hiilidioksidi hyödynnetään energia- ja elintarviketuotannossa.

Pilottilaitoksen prosessien välillä on lämmönvaihtoa, ja lämpöenergiaa siirretään koelaitoksen alueelle rakennetulla kaukolämpöverkolla. Laitoksen toiminta oli osittain ylösajovaiheessa, eikä lämpöenergian kulutuksesta ja tuotannosta ollut seuranta. Insinööriyön tavoitteena oli optimoida ja automatisoida lämpöenergiantuotanto ja -kulutus Sybimar Oy:n sisäisten tarpeiden mukaan.

Työn tuloksena koelaitoksen kaukolämpökierto kartoitettiin ja siitä piirrettiin prosessi-instrumentointikaavio. Lisäksi tuotettiin lämpöenergiavirtojen hallinnan automatisointia varten toimintaselostus ja tehtiin suunnitelma lämpöenergiataseen selvittämistä varten. Prosessi-instrumentointikaaviota, automaation toimintaselostusta ja lämpöenergiataseen selvittämiseksi tehtyä suunnitelmaa ei julkaista opinnäytetyön liitteinä yksityiskohtaisessa muodossaan, vaan ne jäävät ainoastaan Sybimar Oy:n käyttöön.

### ASIASANAT:

automaatio, bioenergia, hajautettu energiantuotanto, lämmitysjärjestelmät, uusiutuvat energialähteet

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering | Product Development

2015 | 35

Instructor Kari Nieminen

Janne Gävert

## AUTOMATING THE HEAT ENERGY CONTROL IN A CLOSED CYCLE SYSTEM

This Bachelor's thesis was commissioned by Sybimar Ltd, a Finnish clean tech company that operates in the fields of aquaponics, fish farming, bioenergy and waste reclaiming. The company has created a closed cycle energy solution in its pilot facility that reutilizes the residual waste, waste heat, nutrients and carbon dioxide for energy production, agriculture and aquaponics.

There is heat transfer between processes where heat energy is transferred in the facility heating grid. The commissioning of the facility was still in process and there was no track record on the energy production and consumption. The purpose of the thesis was to optimize and automate the energy production and consumption of the closed cycle system in the pilot facility.

This thesis project mapped the energy circulation system and produced a process instrumentation chart of the facility. Additionally it produced a description of operations for automating the heat energy circulation, and created a plan to measure the heat energy balance sheet. The process instrumentation chart, description of automation operations and the plan for heat energy balance sheet in their detailed format are disclosed in the published thesis, as they are provided only for the commissioning company.

### KEYWORDS:

automation, bioenergy, clean tech, local energy production, heating systems, optimization, renewable resources

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>5</b>
<b>2 SULJETUN KIERRON KONSEPTI</b>	<b>7</b>
<b>3 KOELAITOKSEN PROSESSIT</b>	<b>11</b>
3.1 Biokaasulaitos	11
3.1.1 Biokaasulaitos osana suljetun kierron konseptia	14
3.1.2 Biokaasulaitoksen riskianalyysi ja lämmöntarve eri vuodenaikoina	14
3.2 Kalankasvattamo	15
3.2.1 Kalankasvattamo osana suljetun kierron konseptia	16
3.2.2 Kalankasvattamon lämmöntarve eri vuodenaikoina	16
3.3 CHP -voimalaitos	18
3.3.1 CHP -voimalaitos osana suljetun kierron konseptia	19
3.3.2 CHP -voimalaitoksen riskianalyysi ja lämmöntuotto eri vuodenaikoina	19
3.4 Kasvihuone	20
3.4.1 Kasvihuoneet osana suljetun kierron konseptia	21
3.4.2 Kasvihuoneen lämmöntarve eri vuodenaikoina	21
3.5 Lämpökontit	22
3.5.1 Lämpökontit osana suljetun kierron konseptia	23
3.5.2 Lämpökonttien riskianalyysi	23
3.6 Biopolttoaineiden tuotantolaitos	23
3.6.1 Biopolttoaineiden tuotantolaitos osana suljetun kierron konseptia	24
<b>4 UUDENKAUPUNGIN PILOTTILAITOKSEN LÄMMÖNTUOTANNON JA - KULUTUKSEN KARTOITUS, OPTIMOINTI JA OHJAUS</b>	<b>25</b>
4.1 Lämpöjärjestelmä ja kaukolämpöverkko	25
4.2 Prosessi-instrumentointikaavio	26
4.3 Lämmöntuotannon ja -kulutuksen optimointi ja automatisointi	27
4.4 Lämpöenergiatase	30
<b>5 TULOKSET JA POHDINTA</b>	<b>33</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>35</b>

# 1 JOHDANTO

Vuonna 2005 perustettu Sybimar Oy on yritys, jonka toimialoina ovat vesiviljely, kalanjalostus, bioenergia, sivujakeiden hyödyntäminen ja elintarviketeollisuuden käsittelylaitteistot. Yritys on rakentanut suljetun kierron energiaratkaisun, jossa jätteet, hukkalämpö, ravinteet ja hiilidioksidi hyödynnetään energia- ja elintarviketuotannossa. Sopivia prosesseja yhdistelemällä yritys on kyennyt rakentamaan käytännössä energiaomavaraisen tuotantolaitoksen, jossa koko tuotantoketju on mahdollisimman hiilineutraali. Konseptin Uudessakaupungissa sijaitsevaan pilottilaitokseen on ajan kuluessa valikoitunut keskenään hyvinkin erilaisia mutta toisiaan tukevia teollisuuden- ja tuotannonaloja.

Koelaitoksen yhteydessä toimii biokaasulaitos, sähkön- ja lämmöntuotantolaitos, kalanviljelylaitos, konepaja ja biopolttoaineiden tuotantolaitos. Lisäksi rakenteilla olevat kasvihuoneet tullaan liittämään osaksi konseptia vuonna 2015. Kaikki koelaitoksen prosessit tukevat toinen toistaan. Prosessit tarvitsevat toisten prosessien tuottamia energia- tai materiaalivirtoja toimiakseen taloudellisesti kannattavalla tavalla. Sähkön- ja lämmöntuotantolaitoksen kapasiteetti on ajoittain laitoksen tarpeisiin riittävää ja ajoittain joudutaan turvautumaan ulkopuolelta ostettuun energiaan. Sybimar Oy:n lopullisena tavoitteena on optimoida energiantuotanto ja energiankulutus omien sisäisten tarpeidensa mukaan. Optimointi toteutetaan taloudellisen kannattavuuden ja samalla ympäristön näkökulmasta.

Opinnäytetyön aiheena on lämpöenergian ohjaus suljetun kierron konseptissa. Pilottilaitoksen osaprosessien välillä on lämmönvaihtoa, ja lämpöenergiaa siirretään koelaitoksen alueelle rakennetulla kaukolämpöverkolla. Moni kohde tarvitsee lämpöenergiaa, mutta lämmönkulutuksessa on tarvehierarkia. Jotkin prosessit kestävät vain lyhyitä lämpökatkoksia ja toiset prosessit selviytyvät jopa vuorokausia ilman ulkopuolista lämpöenergiaa. Joidenkin prosessien lämmöntarve riippuu vuodenajasta. Varsinkin kalanviljelylaitos ja kasvihuoneet haihduttavat talvella huomattavasti enemmän lämpöä. Lämpöenergiaa voidaan myös tuottaa monin tavoin, mutta lämmöntuotannossa on kannattavuushierarkia. Bio- ja kaatopaikkakaasulla tuotettu lämpöenergia on kustannustehokkainta eikä kaasua

pystytä juuri varastoimaan. Bioöljyllä tuotetulla lämpöenergialla on vaihtoehtois-kustannus, joka muodostuu menetetystä bioöljyn myyntikatteesta.

Sybimar Oy:n koelaitoksen kaukolämpökierron putkistot, toimilaitteet ja mittaristot kartoitetaan ja saatetaan ajantasaiseksi putkistokaavioksi prosessi-instrumen-tointeineen. Prosessi-instrumentointikaavio (jatkossa PI-kaavio) jää ainoastaan Sybimar Oy:n käyttöön. PI-kaavion pohjalta tuotetaan toimintaselostus lämpö-energiavirtojen hallinnan automatisointia varten. Myös automaation toiminta-selostus jää ainoastaan Sybimar Oy:n käyttöön. Lisäksi Sybimar Oy tarvitsee vir-tauskaavion, josta selviää koelaitoksen kaukolämpökierron prosessien luovut-tama ja vastaanottama lämpöenergia. Virtauskaavio on samalla koelaitoksen lämpöenergiatase. Sybimar Oy:lle tehdään selonteko toimintaselostuksen tuotta-misen yhteydessä ilmenevistä ja virtauskaavion tuottamiseen tarvittavista putkis-ton tai instrumentoinnin muutostarpeista.

Opinnäytetyön toisessa luvussa käsitellään suljetun kierron konseptia ja ympä-ristönäkökulmaa sekä yleisellä tasolla että Sybimar Oy:n näkökulmasta. Kolman-nessa luvussa esitellään suljettuun kiertoon kuuluvat prosessit ja kuvataan niiden välisiä riippuvuussuhteita. Lisäksi arvioidaan prosessien lämmöntarvetta tai läm-möntuottokykyä sekä prosesseihin liittyviä riskejä. Neljäs luku käsittelee koelai-toksen lämpöjärjestelmän kartoitusta, optimointia ja ohjausta. Viides luku koostuu lopputulosten esittelystä.

## 2 SULJETUN KIERRON KONSEPTI

Suljetun kierron konsepti on eräänlaista energiatehokkuusajattelua. Se on pitkälle vietyä kierrätystä, jossa materiaalivirtojen lisäksi kierrätetään myös energia-  
virtoja. Teollisen symbioosin periaatteiden mukaisessa suljetussa kierrossa resurssit kiertävät luonnon ekosysteemien tavoin. Luonnonvarojen kestävä käyttö parantuu, kun jätteitä ja sivutuotteita hyödynnetään tehokkaammin (Motiva 2014).

Konseptin ajatuksena on rakentaa sopivia prosesseja yhdistelemällä energiaomavarainen tuotantolaitos. Konseptiin sopivat prosessit ovat sellaisia, jotka tukevat toinen toistaan. Tietyissä prosessissa syntyvää sivujaetta voidaan esimerkiksi hyödyntää raaka-aineena jossain toisessa prosessissa. Hyvin toteutettu suljettu kierto synnyttää vähemmän jätettä ja kuluttaa vähemmän raaka-aineita ja energiaa. Sopivia prosesseja yhdistelemällä voidaan vähentää ympäristökuormitusta ja lisätä taloudellista kannattavuutta.

### Ympäristökuormitus

Kun tuotanto nähdään osatoimintoina eikä prosessien muodostamina ketjuina, prosesseissa syntyvät sivujakeet päätyvät jätteeksi. Sivujakeiden hyödyntäminen vähentää jätteiden määrää ja niistä aiheutuvaa ympäristökuormitusta. Myös tuotannon hiilijalanjälki pienenee, kun energiaa ja raaka-aineita kuluu vähemmän. Hiilijalanjälki on ilmastokuormituksen kuvaamiseen kehitetty apuväline. Sen avulla voi verrata erilaisten toimintojen kasvihuonekaasupäästöjä ja niiden vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. (Ilmasto-opas 2014a.) Kun toimintojen yhteenlaskettu nettohiilijalanjälki on nolla, toiminnot eivät vaikuta ilmaston lämpenemiseen lainkaan, vaan toimien muodostama kokonaisuutta kutsutaan *hiilineutraaliksi*. Usein hiilineutraaliuteen liittyy päästöjen vähentämisen lisäksi jäljelle jäävien päästöjen kompensointia esimerkiksi ympäristöinvestointien avulla (Suomen ilmastopaneeli 2014, 8).

Hiilidioksidi ja metaani vaikuttavat ilmakehässä voimakkaimmin ilmastonmuutokseen (Ilmatieteenlaitos 2014). Metaani on ihmisten tuottamista kasvihuonekaasuista hiilidioksidin jälkeen toiseksi tärkein ilmaston lämmittäjä. Metaani on kasvihuonekaasuna selvästi hiilidioksidia voimakkaampi, mutta toisaalta sen määrä ilmakehässä on paljon pienempi ja se hajoaa auringonvalon vaikutuksesta vedeksi ja hiilidioksidiksi noin 12 vuodessa. Metaanipäästöistä noin 2/3 on ihmiskunnan aikaansaannosta ja loput 1/3 on luonnollista perua. (Ilmasto-opas 2014b.) Metaanin pitoisuudet ovat nousseet ilmakehässä 150 % vuodesta 1750 vuoteen 2011 (Ilmatieteenlaitos 2014). Ilmakehän metaanipitoisuus on nykyään siis reilusti kaksinkertainen teollistumisen aikaa edeltävään tasoon verrattuna (Ilmasto-opas 2014b).

### **Sybimar Oy:n suljetun kierron energiaratkaisu**

Sybimar Oy:n konsepti on suljetun kierron energiaratkaisu, jossa jätteet, hukkaenergia, lämpö, ravinteet ja hiilidioksidi hyödynnetään ja kierrätetään energian- ja ravinnontuotantoon. Uudenkaupungin koelaitokseen on ajan kuluessa valikoitunut keskenään hyvinkin erilaisia mutta toisiaan tukevia teollisuuden- ja elintarviketuotannonaloja. Koelaitoksen yhteydessä toimii biokaasulaitos, sähkön- ja lämmöntuotantolaitos, kalanviljelylaitos ja biopolttoaineiden tuotantolaitos. Lisäksi rakenteilla olevat kasvihuoneet tullaan liittämään osaksi konseptia vuonna 2015.

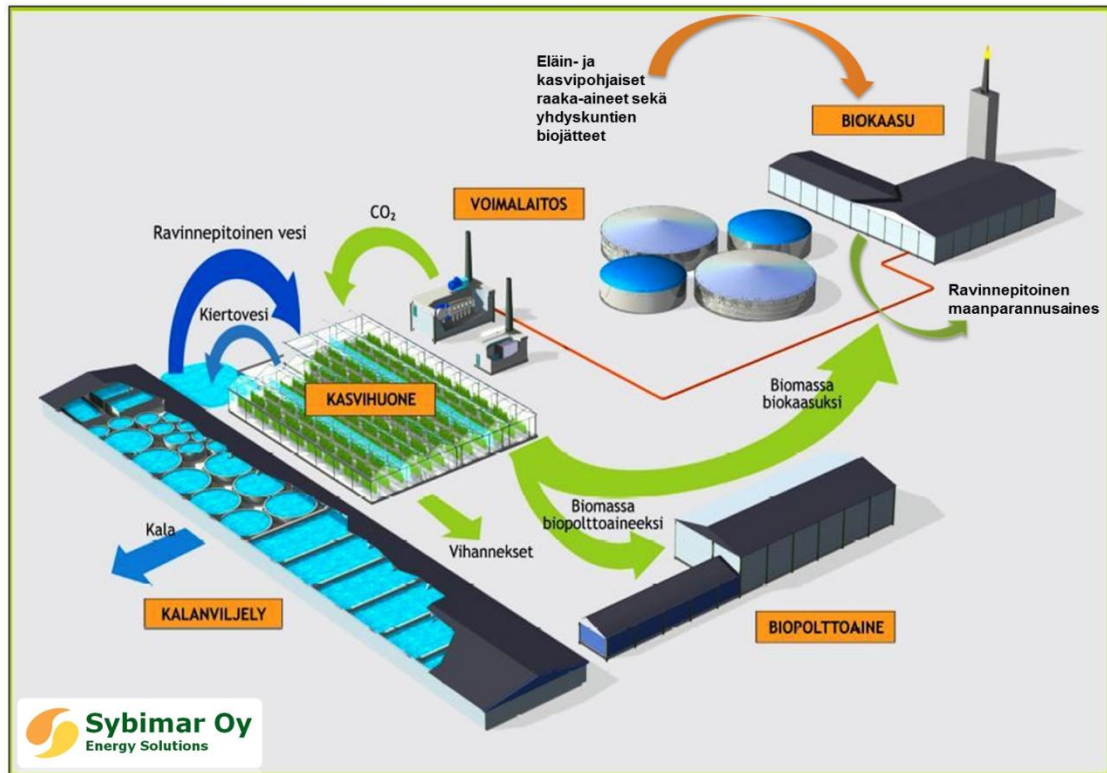
Osalla Sybimar Oy:n suljetun kierron konseptin prosesseista on periaatteessa negatiivinen hiilijalanjälki. Prosessit sitovat hiiltä enemmän kuin tuottavat sitä, jolloin toiminta on ilmaston kannalta jopa hyödyllistä. Esimerkiksi biojätteistä ja kaatopaikalta kerätty metaani käytetään sähkön- ja lämmöntuotantoon. Voimalaitoksen ansiosta metaanissa oleva hiili päätty ilmakehään hiilidioksidin muodossa eikä metaanina. Hiilidioksidia kerätään myös kalanviljelylaitaiden kalojen hengityksestä ja kierrätetään suoraan kasvihuoneisiin biomassan kasvattamiseen. Hiili sitoutuu kasvatettavaan biomassaan. Lisäksi kalanperkuujätteissä on hiiltä, joka



olisi päätynyt ilmakehään metaanina. Nyt jätteet saadaan hyötykäytettyä kertaalleen biopolttoaineena ja jätteiden hiili päätyy ilmakehään metaanin sijasta hiilidioksidina. Jokainen biopolttoaineella tuotettu joule vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä yhden joulen verran.

Kuivalla maalla toteutettava kiertovesikalanviljely vähentää myös paikallista ympäristökuormitusta perinteiseen kalankasvatukseen verrattuna. Kalankasvatuksen aiheuttamalla ravinnekuormalla on suuri vaikutus juuri vesistöissä. Kaksi prosenttia kaikesta Suomen Itämereen päästämästä fosforista ja yksi prosentti kaikesta Suomen päästämästä typestä johtuu kalankasvatuksesta merellä. Kalankasvatus on kuitenkin keskittynyt voimakkaasti Saaristomeren alueelle. Siellä Suomen aiheuttaman ravinnekuorman fosforista 8 % ja typestä 5 % johtuu kalankasvatuksesta. (Itämeriportaali 2014.)

Kuva 1 havainnollistaa koelaitoksen materiaalivirtoja. Materiaalin kierrättämisen lisäksi koelaitoksella on sähkö- ja lämpöenergiakiertoa. Koelaitoksen sähkö tuotetaan voimalaitoksessa ja konseptissa liikkuvia lämpövirtoja siirretään koelaitoksen alueelle rakennetulla kaukolämpöverkolla. Kaukolämpöverkko on koelaitoksen alueella kiertävä 1 400 metriä pitkä putkisto. Putkistossa kiertää lämpöä kuljettavana aineena veden ja glykolin seos. Jokainen osaprosessi on yhteydessä kaukolämpöverkkoon lämmönvaihtimen avulla. Osaprosessit joko tuottavat tai kuluttavat kaukolämpöverkon lämpöenergiaa. Sybimar Oy:n prosessien välisiä riippuvuussuhteita kuvataan tarkemmin ja prosessikohtaisesti kolmannessa luvussa.



Kuva 1. Sybimar Oy:n materiaalivirrat (Sybimar Oy, 2014).

Kun suljettu kierto saadaan toimimaan häiriöttä, konsepti voidaan myös kaupallistaa. Konsepti on herättänyt kiinnostusta ympäri maailmaa, ja se voidaan räätälöidä erilaisiin olosuhteisiin. Ihanteellisimpia ovat kohteet, joissa jotakin infrastruktuuria on jo valmiina. Esimerkiksi tyhjäksi jääneen vedenpuhdistamon yhteyteen voidaan rakentaa kalanviljelylaitos suhteellisin pienin kustannuksin.

### 3 KOELAITOKSEN PROSESSIT

Tässä luvussa esitellään Uudenkaupungin koelaitoksen osaprosessit. Kaikki osaprosessit ovat osa suljetun kierron konseptia. Osaprosessit ovat

- biokaasulaitos
- kalankasvattamo
- CHP -voimalaitos
- kasvihuoneet
- lämpökontit
- biopolttoaineiden tuotantolaitos.

Jokainen näistä kokonaisuuksista muodostaa oman alalukunsa. Prosessikohtaiset alaluvut alkavat lyhyellä prosessin esittelyllä. Esittelyn jälkeen kuvataan suljetun kierron muihin prosesseihin liittyviä riippuvuussuhteita. Lopuksi arvioidaan prosessin lämmöntarvetta tai lämmöntuottokykyä eri vuodenaikoina. Biokaasulaitoksen, CHP-voimalaitoksen ja lämpökonttien osalta myös eritellään ja analysoidaan prosessiin liittyviä ja lämpökiertoon kohdistuvia riskejä. Tämä luku perustuu tutkimus- ja kehityspäällikkö Aki Honkasen, käyttöpäällikkö Ari Murtoniemen ja hallituksen puheenjohtaja Rami Salmisen antamiin tietoihin.

#### 3.1 Biokaasulaitos

##### **Biokaasu lyhyesti**

Biokaasu koostuu lähinnä metaanista ja hiilidioksidista. Tavallisesti metaanin osuus on 40–70 % ja hiilidioksidin osuus 30–60 %. Bakteerit tuottavat biokaasua hajottamalla orgaanista ainesta hapettomissa olosuhteissa. Biokaasua voidaan

tuottaa reaktorilaitoksissa, joissa mädätetään orgaanista ainesta. Lisäksi kaatopaikoilla muodostuu vastaavaa kaasua, jota nimitetään *kaatopaikkakaasuksi*. Metaanipitoisuus vaikuttaa biokaasun lämpöarvoon, joka on tyypillisesti noin 4–7 kWh/m<sup>3</sup>. Biokaasu on uusiutuva biopolttoaine, jonka ympäristöedut ovat huomattavat. (Alm 2011, 39.) Biokaasun käyttö energiantuotannossa pienentää tuntuvasti kasvihuonepäästöjä. Muuten erityisen voimakas kasvihuonekaasu metaani vapautuisi ilmakehään sellaisenaan. Lisäksi biokaasun käyttö energiantuotannossa vähentää fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. (Latvala 2005, 3.)

### **Biokaasulaitoksen rakenne**

Biokaasulaitos hyödyntää elintarviketeollisuuden sivuvirtoja ja erilliskerättyä biojätettä. Suurimpia jäte-eriä ovat kauppojen ja ravintoloiden vanhentuneet elintarvikkeet, vihannes- ja kalajätteet sekä rasvakaivot. Biokaasulaitos on rakennettu kaatopaikan yhteyteen. Biokaasureaktorissa biojätteestä valmistettavan biokaasun lisäksi kaatopaikan alueelta kerätään kaatopaikkakaasua, jota voidaan myös hyödyntää lämmöntuotannossa.

Päivässä biokaasureaktoriin voidaan syöttää noin 60–100 tonnia biomassaa ja kerrallaan biokaasureaktoriin mahtuu biomassaa yhteensä 2 700 tonnia. Biokaasureaktorin vuosittainen vastaanottokapasiteetti on 18 000 tonnia biomassaa.

Biokaasureaktorin tuottama polttoaineteho on noin 1,5 MW. Polttoaineteho määritettiin laskennallisesti. Reaktori tuottaa vuodessa noin 2 000 000 m<sup>3</sup> biokaasua. Reaktorin käyttöasteeksi arvioitiin noin 8 000 tuntia vuoden aikana ja biokaasun keskimääräiseksi lämpöarvoksi arvioitiin noin 6 kWh/m<sup>3</sup>.

Biokaasun vuosituotanto on  $V = 2\,000\,000\text{ m}^3$

biokaasulaitoksen vuotuinen käyttöaste on  $t = 8\,000\text{ h}$

biokaasun keskimääräinen tehollinen lämpöarvo on  $Q_{net} = 6\text{ kWh/m}^3$

biokaasulaitoksen tuottama keskimääräinen tilavuusvirta on  $\dot{V}$

$$\dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{2\,000\,000\text{ m}^3}{8\,000\text{ h}} = 250\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

polttoaineteho on  $P$

$$P = Q_{net} * \dot{V} = \frac{6\text{ kWh}}{\text{m}^3} * \frac{250\text{ m}^3}{\text{h}} = 1,5\text{ MW}$$

$V$ = tilavuus ( $\text{m}^3$ )

$t$ = aika (s)

$Q_{net}$ = tehollinen lämpöarvo ( $\text{kWh/m}^3$ )

$\dot{V}$ = tilavuusvirta ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$P$ = polttoaineteho (MW).

Kaasureaktoriin syötettävä biomassa hygienisoidaan kuumentamalla se 70 celsiusasteen lämpötilaan vähintään tunnin ajaksi. Tämän jälkeen biomassa syötetään mädätysreaktoriin 37 celsiusasteen lämpötilassa. Reaktoriin syötettävää biomassaa voidaan joutua helteillä jäähdyttämään, kun taas kovilla pakkasilla syöttöputkistoja voidaan joutua lämmittämään. Tämä on kuitenkin melko harvinaista, sillä reaktorin oma mikrobitoiminta sekä lämpimänä syötettävä biomassa pitävät reaktorin biokaasun tuotannolle sopivassa lämpötilassa.

Kaatopaikkakaasua kerätään kaatopaikan alueelle rakennetulla imuputkistolla, ja sitä käytetään lähinnä varavoimana biokaasutuotannon häiriötilanteissa. Varastointikapasiteetin ylittävä kaatopaikkakaasu poltetaan tarpeettomana kaatopaikalla sijaitsevassa polttimessa, sillä hiilidioksidiksi poltettuna kaatopaikkakaasu on ilmastoystävällisemmässä muodossa. Biokaasutuotannon häiriötilanteessa kaatopaikkakaasun loputtua voidaan käyttää biokaasun puskurivarastoa. Varaston avulla koelaitoksen sähkön- ja lämmöntuotantolaitos toimii vielä 3–6 tuntia.

### 3.1.1 Biokaasulaitos osana suljetun kierron konseptia

Prosessi kuluttaa:

Kalankasvattamosta saatavaa allasvettä käytetään biokaasun tuotannossa reaktorin laimennusvetenä ja rakenteilla olevien kasvihuoneiden tulevasta tuotannosta sivuvirtana kerätty biojäte tullaan myös hyödyntämään biokaasulaitoksella. Biokaasulaitokseen saapuva biojäte hygienisoidaan kaukolämpöverkon lämmöllä.

Prosessi tuottaa:

Biokaasulaitoksen jätevesiä ei tarvitse toimittaa kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle, vaan ne voidaan toimittaa lannoitteeksi viljelijöille. Myös kiinteä mädätysjäännös on luomukelpoista, ja se voidaan käyttää maanparannusaineena. Tuotettu bio- ja kaatopaikkakaasu siirretään kaasuputkistolla koelaitoksen CHP-voimalaitokselle.

### 3.1.2 Biokaasulaitoksen riskianalyysi ja lämmöntarve eri vuodenaikoina

Biokaasun tuotannossa on otettava huomioon paloturvallisuus ja räjähdysvaara sekä vuotojen aiheuttama tukehtumisvaara. Tämän työn riskianalyysissä keskittyy prosessin mahdollisiin häiriötilanteisiin ja kaukolämpökiertoon kohdistuviin riskeihin. Hapettomissa olosuhteissa bakteerien avulla tapahtuva biokaasun tuotanto on olosuhteille herkkä prosessi. Reaktorissa vallitseva lämpötila, happamuus, ravinnon määrä ja laatu, nestepitoisuus ja biomassan ”raekoko” vaikuttavat prosessin sujuvuuteen. Nämä prosessiin merkittävästi vaikuttavat tekijät vaikuttavat myös toisiinsa. Pieni yksittäisen tekijän epätasapaino saattaa eskaloitua koko prosessin pysähtymiseen, esimerkiksi liian runsas tai rasvainen ravinto saattaa aiheuttaa eräänlaisen happokäymistilan eli ”näristyksen”. Kun massa happamoituu liikaa, mikrobit alkavat kuolla, prosessin itseään lämmittävä biomekanismi häiriintyy ja koko massa saattaa kylmentyä pisteeseen, jossa kaasutuo-

tannon uudelleen käynnistäminen onnistuu vain istuttamalla uuden bakteerikannan. Kun kaasuntuotantoa käynnistetään uudelleen, massan lämmittäminen vaatii paljon lämpöenergiaa, joka joudutaan tuottamaan lähinnä bioöljyllä ja polttoöljyllä.

Suuren mittakaavan biokaasureaktorit ovat vielä melko uutta teknologiaa ja prosessiin vaikuttavia tekijöitä ei vielä tunneta tarpeeksi hyvin. Suurimman tuotantoa uhkaavan riskin muodostaa osaamattomuus ja tietämättömyys. Kesällä 2014 tapahtui mikrobikuolemaan johtanut hyvin äkillinen tapahtumaketju, jonka kaikkia syitä ei kyetty selvittämään. Prosessin hallintaan liittyvien riskien lisäksi biomassaa uhkaa saastumisen vaara. Biomassan mukana reaktoriin voi päätyä kemikaaleja tai mineraaliöljyjä, jotka sairastuttavat bakteerikannan.

Biomassan toimituksissa on ollut vuodenajasta riippuvia kausivaihteluita, mutta toistaiseksi käyttökelpoisesta biomassasta ei ole ollut puutetta. Suurin riski on reaktorin toiminnan pysähtyminen vuoden kylmimpinä aikoina, jolloin koelaitoksen uudelleen käynnistämiseen ja lämmittämiseen käytettävät polttoaineet aiheuttavat tuntuvia kustannuksia.

### 3.2 Kalankasvattamo

#### Kalankasvattamon pääpiirteet

- allaskapasiteetti on 12 kappaletta 110m<sup>3</sup>:n poikasaltaita, 7 kappaletta 600m<sup>3</sup>:n kasvatusaltaita sekä 2 500 m<sup>3</sup>:n kiertovesiallas
- kiertovedenvirtaus laitoksessa on 400 l/s, josta tuorevettä on enimmillään 5 l/s
- vuosituotantokapasiteetti on 400 tonnia kalojen lisäkasvua.

Kalankasvattamon vesi kiertää painovoimaisesti pohjakerroksessa sijaitsevaan vedenpuhdistamoon. Vedestä puhdistetaan ylimääräiset ravinteet ja veteen lisätään happea. Puhdistettu vesi pumpataan takaisin ylemmän kerroksen kala-altai-

siin. Kalojen kasvattaminen on tehokkainta noin 15 °C:n lämpötilassa. Korkeammissa lämpötiloissa happea ei liukene veteen tarpeeksi, kalojen aineenvaihdunta nopeutuu ja kalojen kuolleisuus lisääntyy. Matalissa lämpötiloissa kalojen kasvu puolestaan hidastuu. Altaita lämmitetään talvella ja kuumimpina kesäkuukausina altaita voidaan joutua jäähdyttämään. Kalankasvattamoon ei liity varsinaisesti kaukolämpökiertoon kohdistuvia riskejä.

### 3.2.1 Kalankasvattamo osana suljetun kierron konseptia

Prosessi kuluttaa:

Kasvihuoneiden valmistuttua kalankasvattamon vesi kierrätetään kasvihuoneiden kautta. Kasvihuoneilta palaava hapettunut ja ravinteista puhdistunut vesi ohjataan kiertovesikalankasvattamoon. Altaiden lämmityksessä käytetään kaukolämpöverkosta saatavaa lämpöä.

Prosessi tuottaa:

Kiertovesikalankasvattamon ravinteikkaat ja hiilidioksidipitoiset poistovedet ohjataan kasvihuoneeseen vihannesviljelyn kasvuravinteeksi ja kasteluvedeksi. Kiertovesikalankasvattamosta saatavaa biojätettä ja allasvettä käytetään myös biokaasun tuotannossa, ja kalojen perkausjätteistä valmistetaan bioöljyä.

### 3.2.2 Kalankasvattamon lämmöntarve eri vuodenaikoina

Altaita lämmitetään talvella, ja kuumimpina kesäkuukausina altaita voidaan joutua jäähdyttämään. Kalankasvattamo selviää kuitenkin useita vuorokausia ilman ulkopuolista lämpöenergiaa, sillä altaiden valtava vesimäärä toimii prosessissa energiaa sitovana lämpöakkuna.



Kiertävän veden massa on  $m = 8\,000\,000\text{ kg}$

veden ominaislämpökapasiteetti on  $c = 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kg}}$

altaiden lämpökapasiteetti on  $C$

$$C = c * m = 4,182 \frac{\text{kJ}}{\text{K} * \text{kg}} * 8\,000\,000\text{ kg} = 33\text{ GJ/K}$$

$C$ = lämpökapasiteetti (J)

$m$ = massa (kg)

$c$ = ominaislämpökapasiteetti (J/kgK).

Altaiden lämpökapasiteetti on noin 33 GJ kelvin- ja celsiusastetta kohti. Tämä tarkoittaa sitä, että veden lämpötilan nostaminen yhdellä celsiusasteella vaatii 33 GJ lämpöenergiaa.

Tarvittava lämpöenergia on  $Q = 33\text{ GJ}$

lämmitysteho on  $P = 852\text{ kW}$

lämmitysaika on  $t$

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{33\text{ GJ}}{852\text{ kW} * 3600\text{ s}} = 11\text{ h}$$

$t$ = aika (s)

$Q$ = lämpöenergia (J)

$P$ = lämmitysteho (W).

Jos koelaitoksen suoraan kalankasvattamolle suunnattava koko 852 kW:n lämmöntuotantokyky otetaan käyttöön ja oletetaan, ettei lämpöä häviä kauko-lämpökierrosta eikä osittain kattamattomista altaista, koko 33 GJ:n lämpömäärän tuottaminen ja siten altaiden lämpötilan nostaminen yhdellä celsiusasteella kestää noin yksitoista tuntia.

### 3.3 CHP -voimalaitos

#### **Lämmön ja sähkön yhteistuotanto**

Energiatuotannossa käytetyn polttoaineen ja hyödyksi saadun energian suhde pyritään saamaan mahdollisimman korkeaksi. Kokonaishyötysuhdetta voidaan nostaa tuottamalla lämpö- ja sähköenergiaa yhdistetyssä prosessissa. Lämmön ja sähkön yhteistuotannossa (CHP, Combined Heat and Power) myös hiilidioksidipäästöt vähenevät parhaimmillaan lähes puoleen erillistuotantoon verrattuna (Suvanto ym. 2010, 25). Sybimar Oy tuottaa tarvitsemansa sähkö- ja lämpöenergian Jenbacher-kaasumoottorilla. Moottorin akselilta saatava mekaaninen energia muutetaan sähköenergiaksi generaattorin avulla, ja moottorin jäähdytysvee- teen ja pakokaasuihin sitoutunut lämpöenergia johdetaan kaukolämpöverkkoon ja käytetään tuotantolaitoksen prosesseissa.

#### **Jenbacher JW 312 Gs-kaasumoottori**

##### Kaasumoottorin pääpiirteet

- sähköteho on 450 kW ja lämpöteho on 562 kW
- kulutus on 266 m<sup>3</sup>/h
- biokaasun metaanipitoisuus on oltava vähintään 35 %.

### 3.3.1 CHP -voimalaitos osana suljetun kierron konseptia

Prosessi kuluttaa:

Biokaasulaitoksen tuottama biokaasu ja kaatopaikalta kerätty kaatopaikkakaasu ohjataan CHP -voimalaitokselle.

Prosessi tuottaa:

Generaattorista saatava lämpö ohjataan koelaitoksen omaan kaukolämpöverkkoon ja hyödynnetään kalanviljelylaitoksen ja kasvihuoneiden elintarviketuotannossa, bioöljynerotuksen ja biokaasulaitoksen prosesseissa sekä toimitilojen lämmityksessä. Generaattorista saatavalla sähköllä käytetään koelaitoksen toimitilaitteita ja valaistaan toimitilat sekä kasvihuoneet. Verotusteknisistä syistä toisinaan syntyvää ylijäämä sähköä ei kannata myydä valtakunnan verkkoon.

Kaikkien prosessien tarvitsema lämpö- ja sähköenergia tehdään pääosin biokaasulaitokselta saatavalla biokaasulla ja kaatopaikkakaasulla. Kun prosessit toimivat häiriöttä, koelaitos tuottaa sähkö- ja lämpöenergiaa jopa yli oman tarpeen. Jos tarvittavat energiamäärät jouduttaisiin ostamaan ulkopuolelta, toiminta muuttuisi taloudellisesti kannattamattomaksi.

### 3.3.2 CHP -voimalaitoksen riskianalyysi ja lämmöntuotto eri vuodenaikoina

CHP-voimalaitoksen riskit liittyvät biokaasun laatuun ja kaasuntuotannon häiriöihin sekä kaasumoottorin vikatilanteeseen tai rikkoutumiseen. Jos biokaasulaitoksen tuotantoprosessi ei toimi, Jenbacher-kaasumoottori käy hetken aikaa kaatopaikkakaasulla ja biokaasun puskurivarastolla. Kaasumoottori vaatii toimiakseen 35 %:n metaanipitoisuuden. Puskurivaraston loputtua sähkö joudutaan ostamaan verkosta ja lämpö täytyy tuottaa lämpökonteissa bioöljyllä ja polttoöljyllä. Myös biokaasulaitoksen lämpökontti toimii bio- ja kaatopaikkakaasulla, jonka metaanipitoisuus on vähintään 35 %. Biokaasulaitoksella sijaitsevaa lämpökonttia voidaan käyttää myös polttoöljyllä, ja sitä voidaan hyödyntää suoraan biomassan

hygienisointiprosessissa tai biokaasulaitoksen lämpöakun välityksellä kaukolämpöverkon lämmityksessä.

Kaasumoottorin vikatilanteessa tai kaasumoottorin rikkoutuessa kaasua ei voi varastoida. Ylimääräinen metaanipitoinen bio- ja kaatopaikkakaasu poltetaan ympäristöystävällisempään muotoon hiilidioksidiksi kaatopaikalla sijaitsevalla soihutupolttimella. Osa kaasusta voidaan hyödyntää lämpöenergiana polttamalla sitä biokaasulaitoksen lämpökontissa.

Kaasumoottorin lämmöntuottokyky riippuu ainoastaan biokaasulaitoksen kaasu-  
suntuotannosta. Kun prosessi toimii moitteettomasti, kaasumoottori tuottaa 562 kilowattia lämpötehoa. Lämmöntuotannossa ei ole varsinaisia vuodenajasta riippuvia kausivaihteluita.

### 3.4 Kasvihuone

Vuonna 2015 valmistuvien kasvihuoneiden suunniteltu viljelypinta-ala on 2 400 neliömetriä. Kasvihuonerakennukset sijaitsevat kalankasvattamon päällä. Kasvihuoneissa tullaan viljelemään vesiviljelyyn soveltuvia kasvilajeja, kuten yrttejä ja salaatteja. Vesiviljely tarkoittaa sitä, että kasveja ei istuteta perinteisessä mielessä multaan, vaan niitä kasvatetaan ravinneliuoksessa. Kasvit tuetaan siten, että juuret ovat suoraan kosketuksissa kalankasvatusaltailta tulevaan veteen. Kasvit pystyvät käyttämään veden ravinteet ja hiilidioksidin ja samalla puhdistavat ja hapettavat veden uudestaan kalanviljelyyn kelpaavaksi. Vesi suihkutetaan kasvihuoneeseen Novarbo-vesiseinätekniikalla, jolloin kasvihuoneiden ilma jäähtyy ja ilmassa oleva liika kosteus kondensoituu vesiseinämään.

Kala-altaiden ja kasvihuoneen välisen vesikierron ansiosta kasvihuoneita ei ole tarpeellista tuulettaa liiallisen kosteuden ja lämmön tai liian alhaisen hiilidioksidipitoisuuden takia perinteisten kasvihuoneratkaisuiden tapaan. Tämä vähentää tuuletusikkunoiden kautta leviävien ulkopuolisten tuholaisten ja kasvitautien tarttumisriskiä ja suljetussa tilassa on mahdollista ylläpitää normaalia korkeampia hiilidioksidipitoisuuksia.

### 3.4.1 Kasvihuoneet osana suljetun kierron konseptia

Prosessi kuluttaa:

Kiertovesikalankasvattamon ravinteikkaat ja hiilidioksidipitoiset poistovedet ohjataan kasvihuoneeseen vihannesviljelyn kasvuravinteeksi ja kasteluvedeksi. Samalla ilmakehälle haitallinen hiilidioksidi saadaan talteen sitouttamalla se biomassaan, ja näin tehostetaan kasvihuoneen viljelmien kasvua. Lämmityksessä käytetään kaukolämpöverkosta saatavaa lämpöä.

Prosessi tuottaa:

Kasvihuoneilta kalankasvattamolle palaava vesi on puhdistunut luonnollisesti ravinteista ja vesi on hapettunutta. Kasvihuoneiden tulevasta tuotannosta sivuvirtana kerätty biojäte tullaan hyödyntämään biokaasulaitoksella.

### 3.4.2 Kasvihuoneen lämmöntarve eri vuodenaikoina

Kasvihuoneet saavat lämpiminä vuodenaikoina tarvitsemansa lämmön suoraan auringosta. Muina aikoina kasvihuoneita lämmitetään koelaitoksen kaukolämpöverkolla. Myös lisävalaistus lämmittää kasvihuoneita. Kasvihuoneet on rakennettu kalankasvattamon päälle, jolloin lämpöenergia voi liikkua näiden prosessien välillä. Lisäksi kasvihuoneiden ja kalankasvattamon välinen vesikierto kuljettaa lämpöenergiaa. Kasvihuoneiden ja kalankasvattamon väliseen optimaalisen vesikierron määrään vaikuttaa lämpövirtojen lisäksi myös monia viljelytekniisiä tekijöitä, kuten hiilidioksidin määrä ja ilman kosteus. Käytännössä optimaalisen vesikierron määrää eri vuodenaikoina ei pystytä vielä arvioimaan, vaan vesikiertoon liittyvät tekijät selkiytyvät vasta, kun viljely on jo aloitettu.

Kasvihuoneita on lämmitettävä erityisesti talvella, mutta lämmöntarvetta on myös kesän kylmimpinä jaksoina. Lämmitysenergian tarpeen on arvioitu olevan noin  $1300 \text{ MJ/m}^2$  esimerkiksi kurkun ympärivuotisessa valoviljelyssä. (Westerlund

2005, 9.) Sybimarin kasvihuoneiden vuotuiseksi energiantarpeeksi voitaisiin karkeasti arvioida 3120 GJ, jos kasvihuoneiden ja kalankasvattamon välistä lämmönvaihtoa ja vesikierron kuljettamaa lämpöenergiaa ei otettaisi huomioon.

Lämmitysenergian tarve neliömetrillä  $q = 1300 \frac{MJ}{m^2}$

kasvihuoneiden pinta-ala  $A = 2400 m^2$

kokonaislämpöenergian tarve  $Q$

$$Q = q * A = 1300 \frac{MJ}{m^2} * 2400 m^2 = 3120 GJ$$

$Q$ = kokonaislämpöenergian tarve (J)

$q$ = lämpöenergian tarve neliömetrillä (J/m<sup>2</sup>)

$A$ = Pinta-ala (m<sup>2</sup>).

Suurin osa vuoden aikana tarvittavasta lämpömäärästä kuluisi todennäköisesti muutaman kylmimmän talvikuukauden aikana. Lisäksi kasvihuoneita pyritään pääsääntöisesti pitämään kalankasvattamoa lämpimämpänä, jolloin kasvihuoneiden ja kalankasvattamon välinen vesikierto vielä lisäisi kasvihuoneiden lämmitystehon tarvetta entisestään. Toisaalta kasvihuone rakennetaan lämmitetyn kalankasvattamon katolle, jolloin kasvihuoneiden lämmitystehon tarve on todennäköisesti pienempi kuin mitä se tulisi olemaan paljaalle maalle rakennettaessa.

### 3.5 Lämpökontit

Koelaitoksessa on kolme lämpökonttia, joita voidaan käyttää lämmöntuotannossa varavoimana. Lämpökontit otetaan käyttöön, kun biokaasuun perustuva lämmöntuotanto on häiriintynyt. Kaksi konteista (100 kW ja 190 kW) käy bioöljyn tuotantolaitoksessa valmistetulla bioöljyllä ja biokaasulaitoksella sijaitseva lämpökontti (443 kW) voi käyttää bio- ja kaatopaikkakaasua. Kaikkia lämpökontteja

voidaan käyttää tarvittaessa myös ostetulla polttoöljyllä. Biokaasulaitoksen lämpökonttia voidaan käyttää suoraan biomassan hygienisointiprosessissa, mutta kaukolämpöverkkoa sillä voidaan lämmittää ainoastaan välillisesti. Biokaasulaitoksen lämpökontilla voidaan lämmittää biokaasulaitoksen lämpöakkua, jonka lämpöä voidaan purkaa kaukolämpöverkkoon.

### 3.5.1 Lämpökontit osana suljetun kierron konseptia

Prosessi kuluttaa:

Pienet lämpökontit (100 kW ja 190 kW) kuluttavat bioöljyä ja iso kontti (443 kW) kuluttaa bio- ja kaatopaikkakaasua.

Prosessi tuottaa:

Lämpökontit tuottavat lämpöä joko kaukolämpöverkkoon tai suoraan kohdenne-tusti tietyille prosesseille.

### 3.5.2 Lämpökonttien riskianalyysi

Lämpökontteihin joudutaan turvautumaan silloin, kun CHP–voimala ei jostain syystä kykene tuottamaan lämpöenergiaa, tai sen lämmöntuottokyky ei ole riittävä. Jos kaasun tai bioöljyn tuotanto on häiriintynyt, lämpöä voidaan joutua tuottamaan ostetulla polttoöljyllä. Varavoimana käytettäviä lämpökontteja on kolme, joten yksittäisen kontin häiriötilanne tai huoltotarve ei lamaannuta koko lämmöntuotantokykyä.

## 3.6 Biopolttoaineiden tuotantolaitos

Elintarviketeollisuuden sivujakeista voidaan valmistaa bioöljyä Sybimarin kehittämällä öljynerotustekniikalla. Bioöljyä valmistetaan lähinnä kalojen perkuujätteistä, siipikarjan teurasjätteistä ja kierrätetyistä kasviöljyistä. Esikäsittelyssä raaka-ai-

neesta erotellaan mekaanisesti kolmifaasiseparoinnilla öljy, vesi ja proteiinipitoinen massa, jota voidaan myös käyttää rehun raaka-aineena, biokaasun tuotannossa ja maanparannusaineena. Biopolttolaitoksen tuotannossa ei ole varsinaisesti koelaitoksen lämpökiertoon kohdistuvia riskejä eikä prosessin lämmöntarve ole riippuvainen vuodenaikaisvaihtelusta.

### 3.6.1 Biopolttolaitosten tuotantolaitos osana suljetun kierron konseptia

Prosessi kuluttaa:

Bioöljyä valmistetaan kalojen perkausjätteistä. Hygienisointiprosessissa käytetään kaukolämpöverkosta saatavaa lämpöä.

Prosessi tuottaa:

Valmistettua biopolttolaitosta käytetään koelaitoksen lämmöntuotannossa varavoimana ja samaan yritysryppäeseen kuuluvan varustamon meriliikenteessä.



## **4 UUDENKAUPUNGIN PILOTTILAITOKSEN LÄMMÖNTUOTANNON JA -KULUTUKSEN KARTOITUS, OPTIMOINTI JA OHJAUS**

### **Lähtötilanne**

Koelaitoksesta oli olemassa vanhentunut putkistokaavio, joka vaati ajantasaiseksi päivittämistä. Lämpöenergian kulutuksesta ja tuotannosta eri prosesseissa ei ollut seuranta. Seuranta puuttui, koska koelaitos oli vielä monilta osin ylösajovaiheessa; esimerkiksi kasvihuone oli vasta rakenteilla. Lämmönseurantaan tarvittavaa instrumentointia ei oltu vielä suunniteltu. Laitoshoitaja tarkkaili virtauksia ja lämpöarvoja ja ohjasi manuaalisesti kaukolämmön kiertoon liittyviä toimilaitteita ohjearvojen pohjalta.

### **4.1 Lämpöjärjestelmä ja kaukolämpöverkko**

Pilottilaitoksen osaprosessien välillä on lämmönvaihtoa, ja lämpöenergiaa siirretään koelaitoksen alueelle rakennetulla kaukolämpöverkolla. Moni kohde tarvitsee lämpöenergiaa, mutta lämmönkulutuksessa on tarvehierarkia. Jotkin prosessit kestävät vain lyhyitä lämpökatkoksia ja toiset prosessit selviytyvät jopa vuorokausia ilman ulkopuolista lämpöenergiaa. Joidenkin prosessien lämmöntarve riippuu vuodenajasta, varsinkin kalanviljelylaitos ja kasvihuoneet haihduttavat talvella lämpöä huomattavasti enemmän.

Tarvehierarkia, lämmöntarve:

1. biokaasulaitos
2. bioöljyn tuotantolaitos
3. kasvihuone
4. konepaja ja muut toimitilat
5. kalankasvattamo

Lämpöenergiaa voidaan tuottaa monin tavoin, mutta lämmöntuotannossa on kannattavuushierarkia. Bio- ja kaatopaikkakaasulla tuotettu lämpöenergia on kustannustehokkainta eikä kaasua pystytä juuri varastoimaan. Bioöljyllä tuotetulla lämpöenergialla on vaihtoehtoiskustannus, joka olisi ollut bioöljyn myynnistä saatava myyntikate. Ostetulla polttoöljyllä lämmittäminen on kaikkein kallein vaihtoehto.

Kannattavuushierarkia, lämmöntuotto:

1. Jenbacher kaasumoottori 562 kW
2. iso lämpökontti (kaatopaikka- tai biokaasulla) 443 kW
3. pienet lämpökontit (bioöljyllä) 100 kW + 190 kW
4. kaikki lämpökontit polttoöljyllä 100 kW + 190 kW + 443 kW

Lämmityskapasiteettia on käytettävissä yhteensä 1295 kW.

Lämpöenergiaa prosessien välillä siirtävä kaukolämpöverkko on maan alla kulkeva putki, jossa virtaa veden ja glykolin seos. Putkilenkki on noin 1 400 metriä pitkä. Jokainen osaprosessi isoa lämpökonttia lukuun ottamatta on yhteydessä kaukolämpöverkkoon lämmönvaihtimen avulla. Osaprosessit joko tuottavat tai kuluttavat kaukolämpöverkon lämpöenergiaa. Biokaasulaitoksella sijaitsevaa kaasukäyttöistä isoa lämpökonttia ei ole liitetty suoraan kaukolämpöverkkoon, vaan sillä voidaan lämmittää biokaasulaitoksen prosesseja. Ison lämpökontin lämpöä voidaan kuitenkin varastoida biokaasulaitoksen lämpöakkuun, josta sitä voidaan purkaa myös kaukolämpöverkkoon.

#### 4.2 Prosessi-instrumentointikaavio

Kartoituksen pohjana käytettiin koelaitoksen alkuperäistä PI-kaaviota, jota ei oltu päivitetty muutosten myötä. Kaaviossa oli suurimmaksi osaksi opinnäytetyön ulkopuolelle rajautuvaa materiaalia, ja aluksi oli selvitettävä opinnäytetyön kannalta relevantin materiaalin paikkansapitävyys. Kaikki kohteet, joissa kaukolämpöverkko nousee maan pinnalle, käytiin tarkastamassa. Kaikki kaukolämpökierron putkistot, toimilaitteet ja mittaristot kuvattiin, ja videomateriaalin pohjalta piirrettiin

ajantasaiset putkistokaaviot. Myös osaprosessien lämmönsiirtojärjestelmät kuvattiin ja saatettiin ajantasaiseksi putkistokaavioksi prosessi-instrumentointineen.

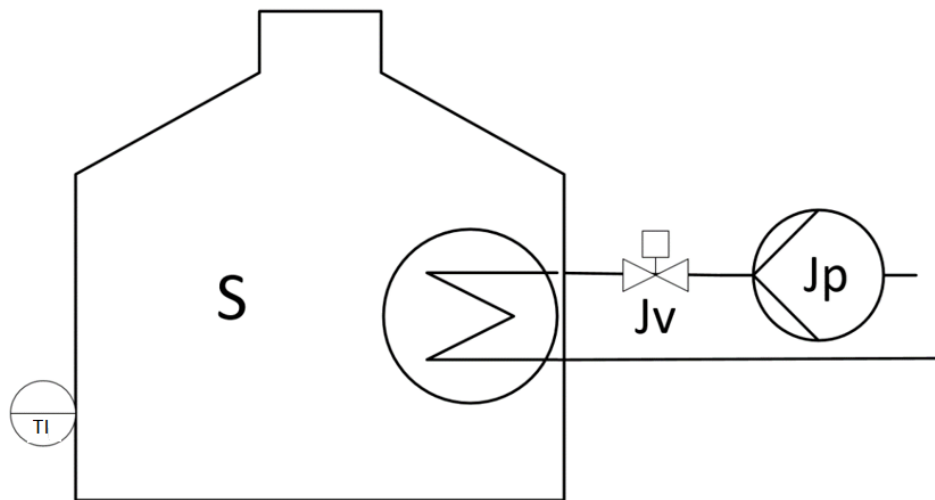
Lisäksi kaaviot piirrettiin uudelleen siten, että ainoastaan relevantti materiaali jäi tarkasteltavaksi. Kaaviot ryhmiteltiin mahdollisimman selkeästi. Ohjelmanä käytettiin Microsoft Office Visiota, koska Turun ammattikorkeakoululla sekä Sybimar Oy:llä oli ohjelman lisenssit käytössään.

#### 4.3 Lämmöntuotannon ja -kulutuksen optimointi ja automatisointi

Sybimar Oy:n tavoitteena on optimoida energiantuotanto ja energiankulutus omien sisäisten tarpeidensa mukaan. Lämpöenergian tuotantoa ja kulutusta voidaan optimoida tietämättä eri prosessiyksiköissä liikkuvia tarkkoja energiamääriä. Lämpöenergia kannattaa tuottaa ensisijaisesti sivujakeita hyväksi käyttäen bio- ja kaatopaikkakaasulla, toissijaisesti biopolttoaineen omatuotannolla ja vain tarpeen vaatiessa ostetulla polttoaineella. Lämpöenergian kulutus kannattaa ohjata tarvehierarkian perusteella kriittisiin kohteisiin. Lämpöenergian kulutus on mahdollista optimoida suoraviivaisesti tarvehierarkian perusteella, koska biokaasua tai biokaasun sisältämää energiaa ei voida varastoida tilanteessa, jossa kaasua tuotetaan ylijäämäisesti, vaan kaikki tuotettu energia ohjautuu suoraan käyttöön.

#### **Toimintaselostus automaatioon**

Sybimar Oy halusi automatisoida koelaitoksen lämmönohjauksen. Lämmönohjaus haluttiin toteuttaa kannattavuus- ja tarvehierarkian perusteella. Automatisointi tilataan ulkopuoliselta yritykseltä, jota varten tehtiin toimintaselostus automaation järjestämistä varten. Toimintaselostus on jäsennelty kuvaus prosessinohjauksesta vaihe vaiheelta. Erillisten toimintojen välille määritetään riippuvuussuhteita siten, että niiden pohjalta rakentuu ohjauslogiikka, joka johtaa haluttuun lopputulokseen.



Kuva 2. PI-kaavio kuuma-ainesäiliöstä.

Esimerkiksi jos säiliö S haluttaisiin pitää 77–80 celsiusasteen lämpötilassa, toimintaselostus voisi näyttää seuraavalta,

Kun kuuma-ainesäiliön lämpömittari TI mittaa yli 80 celsiusasteen lämpötilan:

jäähdytysputkiston venttiili Jv aukeaa

jäähdytysjärjestelmän pumppu Jp käynnistyy yhden sekunnin viiveellä venttiilin Jv aukeamisesta

pumpun käynnistymisestä tulee ilmoitus valvontatauluun 10 sekunnin ajaksi.

Kun kuuma-ainesäiliön lämpömittari TI mittaa alle 77 celsiusasteen lämpötilan,

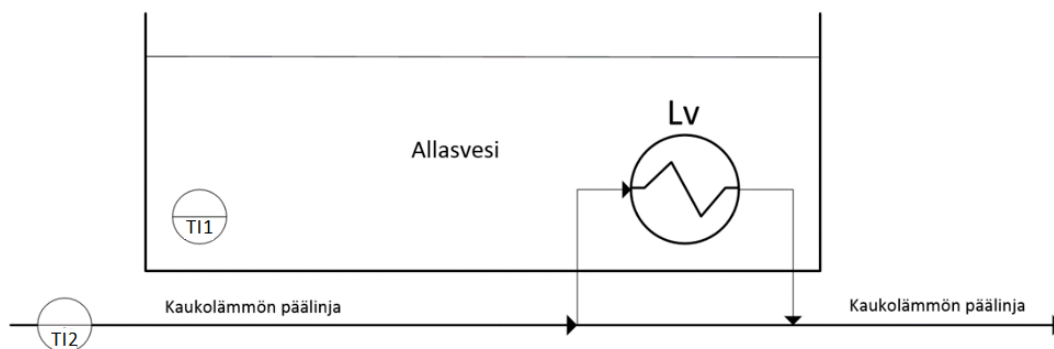
jäähdytysjärjestelmän pumppu Jp sammuu

jäähdytysputkiston venttiili Jv sulkeutuu yhden sekunnin viiveellä pumpun Jp sammumisesta.

Toimintaselostuksen pohjalta automaatioyritys asentaa toimilaitteet (pumput, mittarit, venttiilit yms.) ja säättää toimilaitteita ohjaavat asetusarvot. Toimintaselostus

kannattaa miettiä mahdollisimman pitkälle ennen varsinaisen asennustyön aloittamista. Toimintaselostusta tehtäessä on erityisesti kiinnitettävä huomiota ristiriitatilanteisiin. Kaksi erillistä tapahtumapolkua voi johtaa ristiriitaisiin komentoihin.

Seuraavassa esimerkissä kalankasvattamon allasvesi halutaan pitää kaloille optimaalisessa 15 °C:n kasvatuslämpötilassa ja kaukolämpöverkon kiertoveden lämpötila halutaan pitää lämmöntarpeeltaan kalankasvattamoa tärkeämmäksi priorisoitujen osaprosessien takia vähintään 80 °C:n lämpötilassa. Seuraavan esimerkin kaltainen toimintaselostus johtaisi kaukolämpöverkon ohjauslogiikan ristiriitaan tilanteessa, jossa kalankasvattamon allasveden lämpötila on 14 °C ja kaukolämpöverkon lämpötila on 79 °C.



Kuva 3. PI-kaavio kalankasvattamosta.

Kun allasveden lämpömittari T11 mittaa alle 15 celsiusasteen lämpötilan,

kalankasvattamon kaukolämpöverkkoon liitetyn lämmönvaihtimen Lv vesikierto aukeaa (intressinä allasveden lämpötilan nostaminen).

Kun kaukolämpöverkon lämpömittari T12 mittaa alle 80 celsiusasteen lämpötilan,

kalankasvattamon kaukolämpöverkkoon liitetyn lämmönvaihtimen Lv vesikierto sulkeutuu (intressinä kaukolämpöverkon lämpötilan nostaminen).

Ristiriitatilanteet voidaan välttää lisäämällä ehtoihin Boolean algebran mukaisia loogisia yhteenlaskuja ja loogisia kertolaskuja sekä negaatioita; toisin sanoen ehtoihin lisätään JA-portteja, TAI-portteja sekä EI-portteja. Edeltävän esimerkin ristiriitaisuus katoaa, kun toimintaselostus muotoillaan seuraavasti:

Kalankasvattamon kaukolämpöverkkoon liitetyn lämmönvaihtimen Lv vesikierto aukeaa,

kun allasveden lämpömittari TI1 mittaa alle 15 celsiusasteen lämpötilan JA kaukolämpöverkon lämpömittari TI2 mittaa yli 80 celsiusasteen lämpötilan.

Kalankasvattamon kaukolämpöverkkoon liitetyn lämmönvaihtimen Lv vesikierto sulkeutuu,

kun allasveden lämpömittari TI1 mittaa yli 15 celsiusasteen lämpötilan TAI kaukolämpöverkon lämpömittari TI2 mittaa alle 80 celsiusasteen lämpötilan.

Ristiriitatilanteiden lisäksi prosessinohjauksen suunnittelussa on otettava huomioon mahdollinen informaation kulun hitaudesta johtuva järjestelmän huojuminen. Hystereesi on järjestelmän ominaisuus, joka hidastaa muutoksiin reagoimista. Esimerkiksi pieniä lämpökontteja ei varsinaisesti automatisoida, vaan kaukolämpöjärjestelmän kylmentyessä järjestelmä kehottaa valvojaa käynnistämään lämpökontit. Kontit eivät sijaitse valvomon välittömässä läheisyydessä ja konttien käynnistys joudutaan tekemään manuaalisesti. Järjestelmä kehottaa valvojaa myös sammuttamaan lämpökontit, kun kaukolämpöjärjestelmän lämpötila on taas kohonnut asetettuun tavoitelämpötilaan. Järjestelmän antaman käynnistys- ja sammutuskehotuksen välinen aika koostuu valvojan reaktioajasta, kontille kävelystä, kontin käynnistämisestä sekä siitä ajasta, joka konteilta kestää lämmittää kaukolämpöjärjestelmä asetettuun tavoitelämpötilan. Alimman hyväksytyn lämpötilan ja halutun tavoitelämpötilan asetusväli kannattaa säätää niin suureksi, ettei valvoja ole jatkuvasti sidottuna konttien käynnistämiseen tai sammuttamiseen.

#### 4.4 Lämpöenergiatase

Sybimar Oy tarvitsee virtauskaavion, josta selviää koelaitoksen kaukolämpökierros prosessien luovuttama ja vastaanottama lämpöenergia. Virtauskaavio on samalla koelaitoksen lämpöenergiatase, ja sitä tullaan tarvitsemaan lähinnä talous-

hallinnon tarpeisiin. Energiatasetta varten on selvitettävä eri prosessien kuluttamat ja tuottamat lämpöenergiamäärät. Kaukolämpökierron lämpövirta voidaan laskea, kun tunnetaan nesteen tiheys, ominaislämpökapasiteetti, tilavuusvirta ja lämpötilan muutos.

Lämpöenergianmuutos  $\Delta Q$

$$\Delta Q = m_{vg} c_{vg} \Delta T$$

jaetaan yhtälön molemmat puolet ajalla

$$\frac{\Delta Q}{t} = \frac{m_{vg}}{t} c_{vg} \Delta T \quad \left\{ \frac{\Delta Q}{t} = \emptyset \text{ ja } m_{vg} = \rho_{vg} * V \right.$$

$$\emptyset = \frac{\rho_{vg} V}{t} c_{vg} \Delta T \quad \left\{ \frac{V}{t} = \dot{V} \right.$$

lämpövirran lausekkeeksi saadaan

$$\emptyset = \rho_{vg} \dot{V} c_{vg} \Delta T$$

$\Delta Q$ = lämpöenergian muutos (J)

$m_{vg}$ = vesi-glykoliseoksen massa (kg)

$c_{vg}$ = vesi-glykoliseoksen ominaislämpökapasiteetti (J/kgK)

$\Delta T$ = lämpötilan muutos (K, °C)

$t$ = aika (s)

$\rho_{vg}$ = vesi-glykoliseoksen tiheys (kg/dm<sup>3</sup>)

$V$  = tilavuus (dm<sup>3</sup>)

$\dot{V}$ = tilavuusvirta (dm<sup>3</sup>/s)

$\emptyset$ = lämpövirta (W, J/s).

Lämmöntuotannon seurantaan varten tarvitaan mittarit kaasumoottorille ja lämpökonteille. Joka kohteeseen asennetaan yksi tilavuusvirtamittari sekä kaksi lämpötilamittaria. Lämpötilamittarit asennetaan kaukolämpökiertoon jokaisen kohteen lämmönvaihtimen tulo- ja menopuolelle. Tilavuusvirtamittari voidaan asentaa joko lämmönvaihtimen tulo- tai menopuolelle. Jokaisen prosessin lämmönvaihtimelle saapuva virtaus on erisuuruinen, joten jokaisella prosessilla on oltava oma tilavuusvirtamittarinsa.

Lämmönkulutuksen seurantaan varten tarvitaan mittarit kalankasvattamolle, kasvihuoneelle ja biopolttoaineiden tuotantolaitokselle. Myös näihin prosesseihin asennetaan jokaiseen yksi tilavuusvirtamittari sekä kaksi lämpötilamittaria lämmönvaihtimien tulo- ja menopuolelle. Biokaasulaitoksen kaukolämmönkulutusta varten mittarit ovat jo asennettuna, mutta niitä ei ole vielä kytketty järjestelmään.

Mittausten tiedot kerätään yhteen järjestelmään, josta ilmenee jokaisen prosessin tuottama tai kuluttama lämpöteho kilowatteina. Järjestelmästä voidaan todeta reaaliaikainen lämpötase ja historiatietojen kerääntyttyä järjestelmästä voidaan todeta myös tietyn tarkasteluvälin aikana toteutunut lämpötase. Jos vesi-glykoli-seoksen suhdelukua muutetaan, uudet tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin arvot on syötettävä tasetta laskevaan järjestelmään.



## 5 TULOKSET JA POHDINTA

Koelaitoksen kaukolämpökierron putkistot, toimilaitteet ja mittaristot kartoitettiin ja saatettiin ajantasaiseksi putkistokaavioksi prosessi-instrumentointineen. PI-kaaviota ei liitetä tämän opinnäytetyön yhteyteen, vaan se jää ainoastaan Sybimar Oy:n käyttöön. PI-kaavion pohjalta tuotettiin toimintaselostus lämpöenergia-virtojen hallinnan automatisointia varten. Lisäksi PI-kaavion pohjalta tuotettiin suunnitelma lämpöenergiataseen selvittämistä varten. Myös automaation toimintaselostus ja suunnitelma lämpöenergiataseen selvittämiseksi jää ainoastaan Sybimar Oy:n käyttöön. Sybimar Oy:lle tehtiin selonteko toimintaselostuksen tuottamisen yhteydessä ilmenneistä ja lämpöenergiataseen selvittämiseksi tarvittavista putkiston ja instrumentoinnin muutostarpeista.

Opinnäytetyössä ei otettu kantaa automatisoinnin kustannuksiin eikä automatisoinnin aiheuttamiin säästöihin. Kustannuksia ei voida kohdentaa ainoastaan Uudenkaupungin koelaitoksen toimintaan, sillä kysymyksessä on tuotekehitys, joka tähtää lopulta konseptin kaupallistamiseen. Automatisoinnin aiheuttamista säästöistä saadaan selkeämpi kuva vasta automatisoinnin jälkeen, mutta esimerkiksi Uudenkaupungin koelaitoksessa pienten lämpökonttien käyttäminen turhaan vaikka yli yön kymmenen tunnin ajan kuluttaisi noin 300 litraa bio- tai polttoöljyä.

Vaikka lämpöenergiatase on tarkoitettu lähinnä taloushallinnon apuvälineeksi, niin lämpöenergian kulutuksen seurannasta voidaan saada myös koelaitoksen operoinnille arvokasta tietoa. Eri osaprosessien kuluttamista energiaosuuksista saadaan historiatietojen karttuessa tarkempi kuva. Tämän jälkeen lämpöenergian kulutuksen seuranta voidaan käyttää vikatilojen havainnointiin. Jos lämmönkulutuksessa tapahtuu muutos, jota ei voida selittää jo tunnetuilla ulkoisilla muuttujilla, kuten säätilan muuttumisella, saattaa lämmön kulutuksen muutos johtua vuodosta tai muusta viasta.

Kasvihuoneet on rakennettu kalankasvattamon päälle, jolloin lämpöenergia voi liikkua näiden prosessien välillä. Lisäksi kasvihuoneiden ja kalankasvattamon vä-

linen vesikierto kuljettaa lämpöenergiaa. Kasvihuoneita pidetään kalankasvattamoa lämpimämpänä, jolloin kasvihuoneet luovuttavat lämpöenergia kalankasvattamolle ja kasvihuoneiden lämmitystehon tarve lisääntyy. Kasvihuoneiden kalankasvattamolle luovuttama lämpöenergia ei lisää koelaitoksen lämpöenergian kokonaiskulutusta, mutta se vaikuttaa lämpöenergiataseeseen.

Kalankasvattamon ja kasvihuoneen välisen lämmönvaihdon suuruus voidaan selvittää, jos Sybimar katsoo sen taloushallinnon kannalta tarpeelliseksi. Prosessien väliseen vesikiertoon voidaan myös asettaa lämpötila- ja virtausmittarit, ja välikatton läpi johtuva lämpövirta voidaan arvioida laskennallisesti.

## LÄHTEET

Alm, M. 2011. Bioenergia-alan toimialaraportti. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 11.9.2014.. [http://www.temtoimialapalvelu.fi/files/1403/Bioenergia\\_2011\\_web.pdf](http://www.temtoimialapalvelu.fi/files/1403/Bioenergia_2011_web.pdf)

Ilmasto-opas 2014a. Viitattu 17.11.2014. Kestävät kuluttajavalinnat. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/28259fe8-7b5e-4806-8ab6-7c06739ef5cc/kestavat-kuluttajavalinnat.html>

Ilmasto-opas 2014b. Viitattu 11.9.2014. Metaani. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/dec264e2-6350-418c-a1bc-3ef7c80676aa/metaani.html>

Ilmatieteenlaitos 2014. Ajankohtaista 2013. Metaanin vapautuminen ilmakehään suuri huoli. Viitattu 11.9.2014. <http://ilmatieteenlaitos.fi/ajankohtaista/1229894>

Itämeriportaali 2014. Rehevoitymisen syyt ja seuraukset. Viitattu 11.9.2014. [http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/uhat/rehevoityminen/fi\\_FI/rehevoityminen/](http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/uhat/rehevoityminen/fi_FI/rehevoityminen/)

Latvala, M. 2005. Jätevesilietteen anaerobinen käsittely ja biokaasun hyötykäyttö. Tampere: Bionova. Viitattu 17.11.2014. [http://www.bionova.fi/files/jatevesilietteen\\_anaerobinen\\_kasittely\\_ja\\_biokaasun\\_hyotykaytto.pdf](http://www.bionova.fi/files/jatevesilietteen_anaerobinen_kasittely_ja_biokaasun_hyotykaytto.pdf)

Motiva 2014. Teolliset symbioosit. Viitattu 19.11.2014 [http://www.motiva.fi/toimialueet/teolliset\\_symbioosit](http://www.motiva.fi/toimialueet/teolliset_symbioosit)

Suomen ilmastopaneeli 2014. Kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa.. Viitattu 17.11.2014. [http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset\\_lausunnot/Hiilineutraalisuus\\_taustraraportti\\_2014.pdf](http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Hiilineutraalisuus_taustraraportti_2014.pdf)

Suvanto, T; Autio, S; Huovari, N & Mars, H. 2010. Hajautettu energiantuotanto. Seinäjoki: Etelä-Pohjanmaan Energiatoimisto. Viitattu 17.11.2014. <http://www.thermopolis.fi/UserData/doc/Hankkeet/Eetuuma.pdf>

Westerlund, K. 2005. Kasvihuoneiden energiankulutus Suomessa. Svenska Yrkeshögskolan. Viitattu 14.12.2014. [http://www.motiva.fi/files/2381/Kasvihuoneiden\\_energiankulutus\\_Suomessa\\_24082005.df](http://www.motiva.fi/files/2381/Kasvihuoneiden_energiankulutus_Suomessa_24082005.df)